

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Dokončování povrchů procesem lapování

Surface Finishing by Lapping Process

Student:

Martin Spurný

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Zlámal

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Spurný**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Dokončování povrchů procesem lapování
Surface Finishing by Lapping Process

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současného stavu řešené problematiky.
2. Dokončování povrchu procesem lapování.
3. Způsoby a metody lapování.
4. Hodnocení kvality povrchu po lapování.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentální metody v trieskovém obrábění*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [5] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

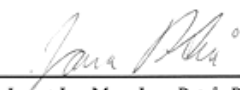
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Zlámal**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014





Ing. et Ing. Mgr. Jana Petráš, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne.....16.5.2014.....

..........

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne.....16. 5. 2014.....

..........

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Spurný Martin

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Čertoryje 236, 78375 Dub nad Moravou

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SPURNÝ, M. *Dokončování povrchů procesem lapování: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, 2014, 52 s. Vedoucí práce: Zlámal, T.

Tématem bakalářské práce je dokončování povrchů procesem lapování ve firmě John Crane Sigma a.s. V teoretické části jsou popsány vybrané dokončovací operace, do kterých patří i proces lapování, dále je pak zpracovaná teorie o procesu lapování. Praktická část se zabývá samotným procesem lapování zadané součásti, popisem stoje, vlastnostmi materiálu lapovaného dílce, popisem lapovací emulze, postupem lapování. Dále je popsána kontrola rovinnosti monochromatickým světlem, kontrola rovinnosti pomocí kruhoměru. V průběhu řešení zadané součásti pomocí firmy John Crane Sigma a.s. bylo kladeno mnoho otázek, výsledkem je výměna lapovací desky na lapovací desku bez drážek u leštění a zkrácení hadic přívodu vstřikovací jednotky.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SPURNÝ, M. *Surface Finishing by Lapping Process: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, 2014, 52 p. Thesis head: Zlámal, T.

The theme of the bachelor thesis is surface finishing by lapping process in the Company John Crane a.s. In the theoretical part describes the selected finishing operations, which include the process of lapping, is then processed the theory about the process of lapping. The practical part deals with the process of lapping the component, describing the material properties, lapping parts, describing the lapping emulsions, in accordance with the lapping. It is also described flatness of monochromatic light control, checking the flatness by using roundness instrument. In the course of the specified component using the company John Crane Sigma a.s. has been asked a lot of questions, the result is an exchange lapping plate to plate without grooves and shortening of the hose inlet of the injection unit.

Obsah

Obsah	6
Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod.....	9
1 Analýza současného stavu lapování	10
2 Obrábění – rozdělení metod obrábění	12
3 Dokončovací metody obrábění	14
3.1 Metody s úběrem materiálu	15
3.1.1 Honování	15
3.1.2 Superfinišování	17
3.1.3 Leštění	18
3.1.4 Omílání	20
3.2 Metody bez úběru materiálu	21
3.2.1 Válečkování, kuličkování	22
4 Proces lapování	25
4.1 Lapovací stroje a zařízení	26
4.2 Lapovací prostředky	27
4.2.1 Lapovací pomůcky	27
4.2.2 Lapovací nástroje.....	29
4.3 Pracovní podmínky	30
4.4 Dosahované parametry	31
5 Experimentální část – lapování dané součásti.....	32
5.1 Lapovací stroj Lapmaster Model 36	33
5.1.1 Kontrola rovinnosti hrubovacích a matovacích strojů.....	35
5.1.2 Kontrola rovinnosti finálních lapovaček	35
5.2 Nástroj pro lapování	37
5.3 Obrobek – lapovaná součást	38

5.3.1	Vlastnosti chromové korozivzdorné martenzitické oceli	38
5.4	Přípravek pro lapování.....	39
5.5	Postup lapování součásti.....	40
5.5.1	Výkres dané součásti	40
5.5.2	Průvodka dané součásti	41
5.6	Kontrola rovinnosti monochromatickým světlem	42
5.6.1	Postup kontroly.....	42
5.7	Kontrola rovinnosti pomocí kruhoměru	44
6	Technicko-ekonomické zhodnocení	46
	Závěr	48
	Použitá literatura	50
	Seznam příloh	52

Seznam použitých značek a symbolů

A	amplituda kmitu	[mm]
A3	tažnost	[%]
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý	[-]
CBN	kubický nitrid boru	[-]
F	síla	[N]
HB	tvrdost měřená dle Brinella	[HB]
HRC	tvrdost dle Rockwella	[HRC]
KCU	vrubová houževnatost	[-]
L _h	délka honované plochy	[mm]
L _z	zdvih honovací hlavy	[mm]
Ra	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
Re	mez kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti	[MPa]
SiC	karbid křemíku	[-]
S – N – O – P	stroj – nástroj – obrobek – přípravek	[-]
T _k	perioda kmitu	[s]
Z	kontrakce	[%]
l ₁ , l ₂	horní a dolní přeběh při honování	[mm]
l _k	délka honovacích kamenů	[mm]
n	otáčky vřetene	[min ⁻¹]
p _k	tlak, který přitlačuje honovací kameny	[MPa]
s	posuv nástroje	[m.min ⁻¹]
v _a	rychlost axiálního přímočarého pohybu	[m.min ⁻¹]
v _k	rychlost kmitání	[m.min ⁻¹]
v _o	obvodová rychlost	[m.min ⁻¹]
α	úhel sklonu stopy po jednom zrna brusiva	[°]
Φ	průměr	[mm]

Úvod

Zadání bakalářské práce vychází z požadavků firmy John Crane Sigma a.s. Firma John Crane je známá po celém světě, kde má více jak 230 středisek. Tato společnost se zabývá výrobou mnoha produktů, kterými jsou například hydrodynamická ložiska, filtrační systémy, mechanické ucpávky a další.

Teoretická část bakalářské práce je zaměřena na popis dokončovacích operací ve strojírenské výrobě, dále pak na teorii lapování. V této části je uveden popis strojů, nástrojů určených k lapování a druhy lapovacích brusiv.

Pro zlepšení kvality povrchu, mechanických a fyzikálních vlastností, zlepšení vzhledu, zvýšení přesnosti tvaru a rozměru součástí se používají dokončovací operace. Dokončovací operace můžeme rozdělit na metody bez úběru materiálu a metody s úběrem materiálu, mezi které patří i dokončovací proces lapování.

Lapování je založeno na principu vzájemného pohybu mezi obrobkem a nástrojem s volným brusivem. Brusivo je vmícháno do lapovací pasty a odebírá malé třísky z obrobku. Ve firmě John Crane Sigma a.s. se lapuje ručně nebo pomocí stroje, takzvaných lapovaček. Lapují se například dosedací plochy mechanických ucpávek, funkční plochy nástrojů, základní měrky takzvané Johansonky, zrcadla a čočky pro optiku.

V experimentální části bakalářské práce je řešena problematika lapování a kontrola rovinnosti dané součásti ve firmě John Crane Sigma a.s. Tato součást je součástí plynové ucpávky, která slouží jako přitlačná deska v plynové ucpávce. Hlavním úkolem této součásti je, že dokonale přitlačuje lapovanou plochu druhého karbonového dílce dovnitř ucpávky. Mechanická ucpávka slouží k dokonalému utěsnění čerpaného média, tak aby nedocházelo k jeho úniku do okolního prostředí. Základní těsnicí funkce mechanické ucpávky je závislá na dvou částech, a to na sedle a čele ucpávky. Aby mezi těmito komponenty byla co možná nejmenší propustnost, musí být u obou komponentů dosaženo vysoké kvality povrchu a vysokého stupně rovinnosti jejich vzájemně dosedajících ploch. Dále je uveden popis soustavy S – N – O – P, výroba součásti uvedená v průvodce a výkres dané součásti. Rovinnost lapované součásti je kontrolována pomocí monochromatického světla a kruhoměru. V závěru je dle finančních ukazatelů provedeno technicko-ekonomické zhodnocení navrženého postupu.

1 Analýza současného stavu lapování

Proces lapování je prováděn pro zlepšení kvality povrchu, protože současná doba a vývoj nových technologií vyžaduje kvalitní povrchy, které lapováním můžeme dosáhnout. Tato metoda se používá tam, kde nemůže být konečná úprava dosažena jinými běžnými technologickými postupy. Firma John Crane Sigma a.s. v Lutíně, používá proces lapování na lapování dosedacích ploch mechanických ucpávek, přítlačných desek do plynových ucpávek a další. Požadavky ve firmě John Crane na rovinnost a texturu povrchu hlavních těsnících povrchů kontaktních mechanických ucpávek jsou vypsány v tabulkách níže, matný povrch musí být jednoduše matný bez viditelných rýh, jamek, barevných změn a znečištění.

Tab. 1 Rovinnost pro matný povrch [9]

Materiálová skupina	Parametr drsnosti povrchu Ra (μm)
Carbon Grafit – Všechny stupně	0,5 ± 0,1
Karbid/Keramika, SiC grafitové komposity a křemíkové Grafity	0,25 ± 0,07
Porézní křemíkové karbidy	0,25 do 1,25
Hliník – Všechny stupně	0,35 do 0,75
Litiny – Všechny stupně	0,3 do 0,5

Saténový povrch musí být částečně reflexní, bez viditelných rýh, jamek, barevných změn a znečištění.

Tab. 2 Rovinnost pro saténový povrch [9]

Materiálová skupina	Parametr drsnosti povrchu Ra (μm)
Karbidy / Keramika	0,18 ± 0,07
Porézní křemíkové karbidy	0,25 do 1,25
Hliník – Všechny stupně	0,4 ± 0,07

Leštěný povrch musí být jednoduše reflexní bez viditelných rýh, jamek, barevných změn a znečištění. Některé materiály, jako je šedá litina a některé porézní karbidy křemíku mohou vykazovat nepatrné jamky na povrchu. Odraz povrchu se může změnit v závislosti na typu materiálů.

Tab. 3 Rovinnost pro leštěný povrch [9]

Materiálová skupina	Parametr drsnosti povrchu Ra (μm)
Carbon Grafit – Všechny stupně	0,2 Max.
Karbidy / Keramika	0,1 Max.
Porézní křemíkové karbidy	0,25 do 1,25
SiC grafitové komposity	0,25 Max.
Křemíkové Grafity	0,15 Max.
Hliník - 85%	0,25 Max.
Hliník - 99,5%	0,2 Max.

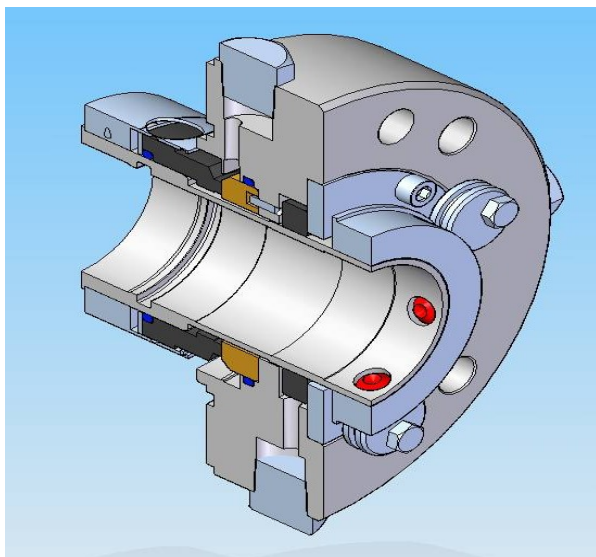
Ni-Resist / Bronz	0,15 Max.
Litiny – Všechny stupně	0,4 Max.

Super leštěný povrch musí být zrcadlový a bez jakýchkoliv rýh, jamek, barevných změn a znečištění.

Tab. 4 Rovinnost pro super leštěný povrch [9]

Materiálová skupina	Parametr drsnosti povrchu Ra (μm)
Wolframové karbidy	0,03 Max.
Křemíkové karbidy	0,05 Max.

Dále firma SIGMA – ENERGO s.r.o v Třebíči, lapováním renovují mechanické ucpávky za účelem snížení nákladů na pořízení nových částí, při současném zvýšení technické a provozní funkčnosti. Lapování se používá také v oblasti optiky kde se lapují například zrcadla a čočky. Lapování v oblasti optiky provádí firma Meopta - optika, s.r.o. se sídlem v Přerově. Světová firma zabývající se lapováním optických čoček je německá firma Carl Zeiss spol. s.r.o, která má také mnoho poboček po celém světě.



Obr. 1 Mechanická ucpávka [9]

2 Obrábění – rozdělení metod obrábění

Je technologický proces, kterým vytváříme povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti odebráním částic materiálu účinky mechanickými, elektrickými, chemickými, případně jejich kombinací. [1]

Obrábění je realizováno v soustavě obrábění (S – N – O – P). Tato soustava se skládá z následujících čtyř částí: [6]

- obráběcí stroj (S),
- řezný nástroj (N),
- obrobek (O),
- přípravek (P).

Proces obrábění lze uskutečnit: [15]

- řezáním - nástroj má definovaný počet břitů i tvar břitu,
- abrazí - nástroj má břity nedefinovaného počtu a tvaru,
- erozí - materiál je odstraňován procesem eroze.

Cílem všech metod obrábění je dát obrobku požadovaný geometrický tvar, rozměr a také dosáhnout odpovídající kvality obrobené plochy při maximální efektivitě procesu obrábění. [15]

Systémově je obrábění technologický proces, jehož hlavními prvky jsou stroj – nástroj – obrobek. Hlavními vstupy do systému jsou – hlavní parametry stroje, který převádí elektrickou energii na mechanickou práci, dále to jsou parametry nástroje – zejména jeho řezivost a parametry polotovaru – obráběného materiálu – zejména jeho obrobitelnost. Vzájemnou interakcí výše uvedených hlavních prvků systému dochází odebráním třísek k postupnému přetváření polotovaru ve výrobek, kterému říkáme obrobek, a který je výstupem tohoto technologického procesu. [15]

Obráběcí metody se mohou rozdělit podle různých hledisek. Klasifikace metod obrábění využívá různé charakteristiky, jako je vzájemný kontakt nástroje s obrobkem, kombinace variant pohybů stroje, nástroje a obrobku. [6]

Podle charakteru vykonávané práce dělíme obrábění na:

- ruční,
- strojní.

Ruční obrábění je práce vykonávaná člověkem pomocí ručních nástrojů, jako je sekání, pilování, zaškrabávání apod. Do této oblasti také patří práce vykonávané pomocí ručně ovládaných strojů, jako jsou ruční elektrické brusky, vrtačky aj. Při ručním obrábění je využívána fyzická síla a manuální zručnost pracovníka. Produktivita ručního obrábění má v současné době vzhledem ke stavu techniky nízkou úroveň. Svůj neopomenutelný význam má ruční obrábění především v údržbě a opravárenství.

V případě obrábění pomocí stroje je potřebná energie, ta je přiváděna obvykle ve formě elektrické energie k obráběcímu stroji, kde se přeměňuje na energii mechanickou, využívanou pro uskutečnění obráběcího procesu. [6]

Dělení metod obrábění podle charakteristických znaků břitové geometrie nástroje je: [6]

- obrábění s definovanou geometrií břitu (soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání, hoblování a obrážení, protahování aj.),
- obrábění s nedefinovanou geometrií (broušení, honování, lapování aj.),
- nekonvenční metody obrábění (např. elektroerozivní, chemické, ultrazvukem, laserem, soustředěným paprskem),
- úpravy obrobených ploch (např. válečkování, leštění, hlazení, brokování).

Podle charakteru záběru řezání: [6]

- plynulé řezání, při kterém je řezný klín po celou dobu řezání stále v záběru,
- přerušované řezání, při němž řezný klín střídavě vchází do záběru a vychází ze záběru. Typickým příkladem takového řezání je frézování.

Podle směru přemísťování částic materiálu vzhledem k řezné hraně se dělí na: [6]

- volné obrábění, při kterém je směr přemísťování částic třísky ve všech bodech řezné hrany stejný, příkladem volného řezání je soustružení zapichovacím nebo naběracím soustružnickým nožem,
- vázané obrábění, při kterém se částice třísky pohybují různými směry, v zásadě však kolmo na řeznou hranu, příklad vázaného řezání je podélné soustružení nástrojem se zaoblenou špičkou.

3 Dokončovací metody obrábění

Dokončovací obrábění je technologický proces, jehož cílem je zvýšení jakosti obrobeného povrchu, zlepšení jeho mechanických a fyzikálních vlastností, zvýšení přesnosti tvarů a rozměrů součástí a zlepšení vzhledu povrchu součástí. Při dokončovacím obrábění jsou odebírány třísky malých průřezů, proto jsou řezné síly malé, což zaručuje malé deformace obrobku, nástroje, upínače i stroje, a tedy dosažení vysoké přesnosti obrábění. Jakost obrobeného povrchu je obvykle vysoká (R_a 0,8 μm). Přehled technologických operací patřících do oblasti dokončovacího obrábění je uveden v tab. 5.[3]

Tab. 5 Přehled dokončovacích operací v obrábění [3]

Druh obrábění	Drsnost povrchu R_a (μm)	Stupeň přesnosti IT	Rychlost obrábění ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	Specifický tlak nástroje (MPa)	Teplota povrchu ($^{\circ}\text{C}$)	Přídavek na průměr (μm)
Soustružení	0,4 až 1,6	7 až 9	80 až 270	20 až 300	300 až 600	do 2000
Jemné obrábění	0,2 až 0,8	5 až 7	30 až 300	10 až 250	100 až 300	40 až 300
Vyvrtávání	0,2 až 0,8	4 až 6	10 až 250	10 až 100	50 až 250	30 až 300
Vystružování	0,2 až 0,8	5 až 7	3 až 18	10 až 200	40 až 150	50 až 250
Frézování	0,4 až 1,6	7 až 8	50 až 700	15 až 300	50 až 300	do 2000
Zaškrabávání	0,4 až 1,6	3 až 6	5 až 30	10 až 40	30 až 50	do 300
Běžné broušení	0,4 až 1,6	5 až 7	900 až 2400	40 až 400	400 až 1200	do 800
Jemné broušení	0,1 až 0,4	3 až 5	900 až 4200	30 až 200	200 až 900	10 až 320
Klasické honování	0,1 až 0,8	3 až 5	15 až 40	0,2 až 1,4	30 až 150	20 až 200
Diamantové honování	0,2 až 0,8	2 až 4	40 až 80	0,3 až 2,0	30 až 80	10 až 150
Vibrační honování	0,1 až 0,4	2 až 4	10 až 50	0,2 až 0,8	30 až 60	10 až 300
Elektrochemické honování	0,2 až 0,8	3 až 5	10 až 40	0,2 až 1,2	30 až 40	20 až 500
Superfinišování	0,01 až 0,2	1 až 3	5 až 30	0,1 až 0,6	do 30	10 až 50
Lapování	0,005 až 0,2	1 až 3	5 až 30	0,5 až 1,6	20 až 40	20 až 300
Leštění kotouči	0,1 až 0,4	4 až 7	600 až 1800	0,1 až 0,4	30 až 80	20 až 100
Leštění pásy	0,1 až 0,4	3 až 6	600 až 2400	do 0,1	30 až 70	10 až 50
Chemické leštění	0,1 až 0,4	5 až 8	-	-	20 až 150	20 až 200
Elektrochemické leštění	0,1 až 0,8	6 až 9	-	-	30 až 90	30 až 300
Kartáčování	0,2 až 0,8	6 až 10	600 až 3000	0,3 až 1,6	30 až 60	50 až 150
Vibrační leštění	0,2 až 1,6	6 až 10	10 až 80	do 0,15	30 až 50	50 až 150
Omílání	0,4 až 1,6	7 až 11	40 až 60	do 0,25	30 až 50	10 až 200

Válečkování	0,1 až 0,4	6 až 7	10 až 30	200 až 1400	30 až 50	2 až 20
Kuličkování	0,2 až 0,8	7 až 9	15 až 45	200 až 1200	30 až 50	5 až 30
Protlačování	0,2 až 0,8	5 až 7	2 až 7	200 až 1500	30 až 50	7 až 40

3.1 Metody s úběrem materiálu

Použití těchto metod předpokládá dostačující přídavek na dokončování, který se odebere jemnými podmínkami s minimálním tepelným ovlivněním nově vznikající povrchové vrstvy. Výkon těchto operací je z uvedených důvodů posuzován nikoli odebraným objemem materiálu, ale plochou požadované kvality vytvořenou za jednotku času. [2]

Mezi tyto metody patří: [2]

- Honování
- Superfínišování
- Lapování
- Leštění
- Omílání

3.1.1 Honování

Honování je dokončovací metoda obrábění, při které se obráběný materiál odebírá abrazivním účinkem brusiva honovacích kamenů a lišt nebo kartáčků, upevněných v honovací hlavě. Honování je nejčastěji používáno pro dokončování vnitřních válcových ploch, méně často se honují vnější válcové plochy. Honovat můžeme válcové díry průchozí i neprůchozí, s drážkami různých tvarů a velikostí v rozsahu průměrů 1 až 750 mm a délek až 24 m a s přidavným zařízením i kuželové díry.[7]

Honováním se dokončují pneumatické, hydraulické a brzdové válce, válce spalovacích motorů, kliková ložiska motorových bloků a ojnic, bubny, pouzdra, ložiska vřeten, ozubená kola, apod. Honovat lze kalené i nekalené oceli, litiny, hliníkové slitiny, neželezné kovy, slinuté karbidy, tvrdé povlaky a další materiály.[7]

Podle požadované přesnosti honovaného povrchu se rozlišuje honování:[7]

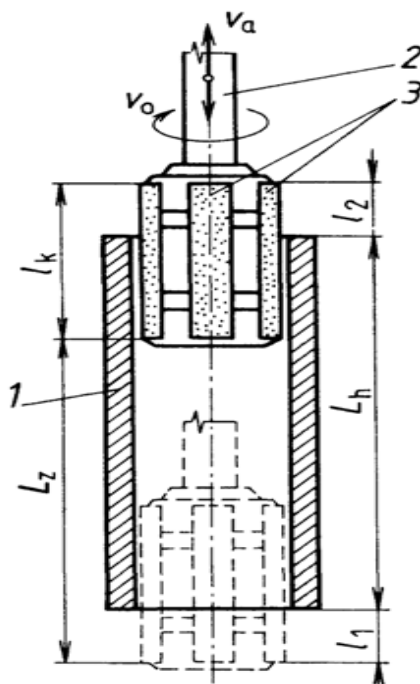
- jednostupňové - jeden nástroj pro hrubovací i dokončovací honování,
- dvoustupňové - použije se jeden nástroj s hrubší zrnitostí pro hrubování a jeden jemnozrnný pro dokončování.

Honovací stroje

Honovací stroje se vyrábějí v širokém rozsahu provedení a rozměrů, podle velikosti a počtu honovaných součástí. Podle polohy vřeten se rozlišují stroje svislé a vodorovné, podle počtu vřeten jsou stroje rozlišovány na jednovřetenové a vícevřetenové, nejčastěji používané jsou svislé jednovřetenové stroje. [7]

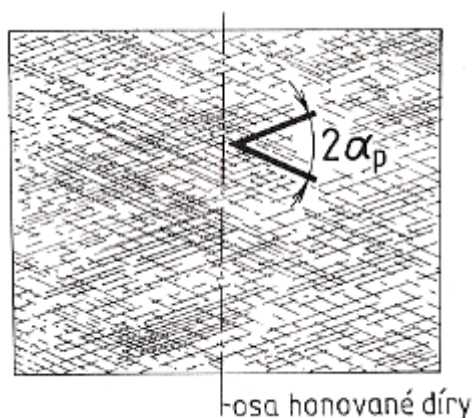
Honovací nástroje

Standardní honovací hlava má sadu radiálně stavitelných honovacích kamenů, které jsou v rovnoměrných roztečích ustaveny po jejím obvodě, celková šířka všech kamenů dosahuje 0,15 až 0,35 obvodu hlavy. Pro honování děr s drážkami musí být šířka honovacích kamenů větší než je šířka dvou drážek. Kameny jsou k povrchu honované díry přitlačovány určitým tlakem p_k [MPa], který tvoří součást řezných podmínek. Mechanismus honovací hlavy umožňuje malý radiální posuv kamenů a regulaci tlaku p_k mezi kameny a honovaným povrchem na mechanickém, hydraulickém nebo pneumatickém principu. Honovací kameny jsou vyráběny z Al_2O_3 (pro obrábění kalených ocelí) nebo SiC (pro obrábění měkkých ocelí, litin, slitin Al a slitin Cu). Pojivo honovacích kamenů je obvykle keramické, pro velmi jemné honování pryskyřičné (bakelitové). Pro vysoké požadavky na kvalitu honovaných děr se používají kameny ze syntetického diamantu a kubického nitridu boru. Pojivo diamantových kamenů bývá nejčastěji kovové. [7]



Obr. 2 Schéma procesu honování [12]

1 – obrobek, 2 – honovací hlava, 3 – honovací kameny



Obr. 3 Charakteristický vzhled honované plochy [3]

3.1.2 Superfinašování

Superfinašování je zvláštní druh broušení, při kterém se z dokončovaného povrchu odřezávají vrcholky nerovností abrazivním účinkem velmi jemných zrn superfinašovacích kamenů. Superfinašování je charakterizováno malými řeznými rychlostmi a kmitavým pohybem superfinašovacího nástroje, přitlačovaného silou F na obráběnou plochu.

Je to vysoce produktivní metoda dokončovacího obrábění vnějších a vnitřních rotačních, tvarových a rovinných ploch s vysokou přesností a nízkou drsností povrchu. Nejčastěji se uplatňuje při dokončování valivých ložisek a součástí v automobilovém průmyslu. Superfinašovat lze součásti z kalených i nekalených ocelí, slitin těžkých kovů, litin a plastů. [7]

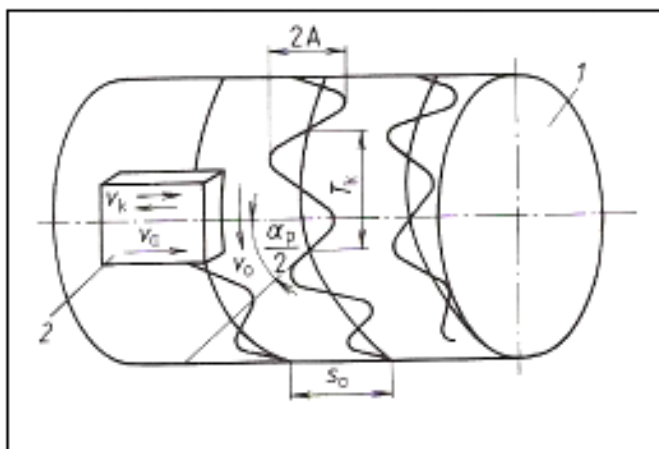
Superfinašovací stroje

Stroje pro superfinašování se vyrábějí jako jednovřetenové nebo vícevřetenové, nejčastěji se používají pro obrábění vnějších a vnitřních rotačních ploch. Jsou určeny především pro dokončování součástí valivých ložisek (kroužky, válečky), pístních čepů, dříků ventilů a jiných součástí hromadné výroby. V kusové a malosériové výrobě se velmi často používají speciální přídavná zařízení se samostatným, nezávislým pohonem pro přímočarý oscilační pohyb nástroje, která se upínají na suporty hrotových soustruhů, nebo na hrotové brusky. [7]

Superfinašovací nástroje

Superfinašovací kameny jsou vyráběny z Al_2O_3 s keramickou, nebo bakelitovou vazbou pro obrábění ocelí, nebo SiC , pro obrábění litin a ocelí nižších pevností, korozivzdorných ocelí, neželezných kovů a slitin. Pro obrábění vysoce legovaných ocelí se používají kameny z kubického nitridu boru s keramickým pojivem, pro obrábění slinutých

karbidů kameny ze syntetického diamantu, s organickým pojivem. Kameny všech typů jsou v superfinišovacích hlavách upevňovány mechanicky, nebo se lepí na ocelové podložky. [7]



Obr. 4 Schéma kinematiky procesu superfinišování
1 – obrobek, 2 – superfinišovací kámen [3]

3.1.3 Leštění

Leštění je dokončovací operace obrábění povrchu, kterou se odstraňují drobné nerovnosti, docílí se zrcadlový lesk, a vysoká jakost povrchu. Na rozdíl od broušení se jedná o malý úběr materiálu a dochází proto k odebírání vrcholků nerovností. Leštění lze provádět ručně nebo strojně. [3]

Podle způsobu práce rozdělujeme leštění na: [3]

- mechanické,
- chemické,
- elektrochemické.

Při mechanickém leštění je materiál obrobku odebírán mechanickým působením zrn tvrdých brousících materiálů, která jsou pevně uchycena na leštícím nástroji, nebo volně nanášena mezi nástroj a obrobek. [3]

Chemické leštění je založeno na úběru materiálu chemickým působením vhodného roztoku na povrch obrobku. Dochází k chemické reakci, při které je nejdříve odebírán materiál na vrcholcích nerovností povrchu. [3]

Elektrochemické leštění využívá na zvýšení jakosti povrchu elektrochemické procesy, které probíhají v elektrolytech. Součástka, která je anodou se ponoří do

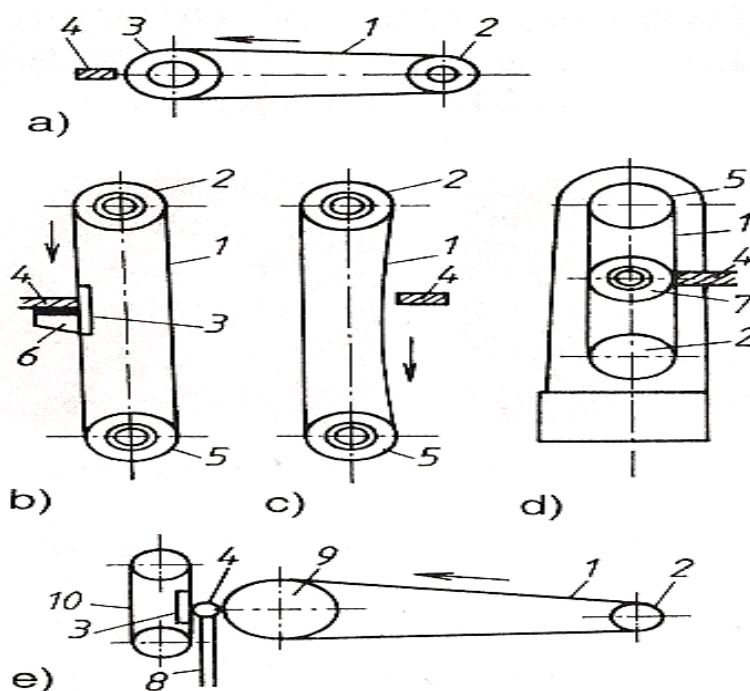
elektrolytu mezi anody a průchodem elektrického proudu a v důsledku elektrochemického rozpouštění nastává vyrovnání a leštění povrchu. [4]

Leštící stroje

Při ručním leštění se buď obrobek drží v ruce a leštící nástroj je upevněn na hřídeli, nebo je leštící nástroj upnut v ruční elektrické nebo pneumatické brusce.

- univerzální leštičky
- speciální jednoúčelové leštičky
- leštící linky

U chemického a elektrochemického leštění je strojem speciální vana o obsahu 5 až 1500 litrů, jejíž vnitřní stěny jsou opatřeny povlakem který, může být z olova, smaltu, plastu, skla, porcelánu, keramiky, kameniny, který odolává působení chemického roztoku. [3]



Obr. 5 Principy strojů s leštícími pásy [3]

- a) kontaktní leštění, b) leštění s opěrnou deskou, c) leštění volným pásem, d) tvarové kontaktní leštění, e) bezhroté leštění

1 – leštící pás, 2 – napínací kladka, 3 – opěrný váleček, 4 – obrobek, 5 – napínací kladka,
6 – pracovní stůl, 7 – tvarovaný elastický váleček, 8 – opěrka, 9 – kontaktní váleček,
10 – pomocný pás [3]

Leštící nástroje

Nástroj pro mechanické leštění se skládá z leštícího nástroje a leštícího prostředku, který je mezi povrchem nástroje a povrchem obrobku. Jako leštící prostředky se používají zrna tvrdých brousících materiálů, která jsou pevně uchycena na činné ploše nástroje, nebo se volně pohybují mezi povrchem nástroje a povrchem obrobku. Leštící prostředky mohou být kysličník hlinitý, karbid křemíku, křída, oxid chromitý, oxid železitý, vídeňské vápno, vosk, parafín, lůj, kaolin a další. [3]

Leštící kotouče jsou zhotoveny z plsti, skládaných tkanin, bavlny, kůže, gumy, dřeva, papíru, lisované bavlny, kovu a dalších.

Leštící kartáče, kotouče a válce mají střed kotouče vyroben z kovu, dřeva, plastu, popřípadě z gumy, do kterého jsou pevně uchycena vlákna z ocelového drátu, kapronu, nilonu, silonu, žíní, fibru, zvířecích štětín a podobně.

Leštící pásy jsou vyráběny z kapronu, bavlněné tkaniny, gumy, silonu, rostlinných tkanin atd.

U chemického leštění je nástrojem chemický roztok různého složení a koncentrace. Základní složky jsou kyselina sírová, chlorovodíková, fosforečná a další. [3]



Obr. 6 Leštící kotouče [13]

3.1.4 Omílání

Omílání je speciální proces leštění, při kterém se obrobky a leštící prostředek dostávají do vzájemného pohybu otáčením nebo vibrací strojního zařízení. Úběr materiálu se děje třením a nárazy leštícího prostředku na povrch obrobku. [3]

Provádí se tam, kde by byl jiný způsob leštění pracný a drahý, dále u součástí, kde požadujeme vysokou jakost celého povrchu součásti, bez požadavku na přesnost rozměrů a tvarů. Omíláním se také odstraňují otřepy. [3]

Omílací stroje

Strojní zařízení používané k omílání je v podstatě buben s pohonem. Buben je vyroben z ocelového plechu, jeho vnitřní stěny jsou pokryty gumou, dřevem nebo plastem. Podle tvaru rozlišujeme válcové, kuželové a několikahránné bubny. Bubny se mohou otáčet nebo vibrovat. [3]



Obr. 7 Vibrační omílací zařízení [14]

Nástroje na omílání

Při této povrchové úpravě je nástrojem leštící prostředek, který je složen z abrazivního materiálu a aktivní kapaliny.

Jako abrazivní materiály se používají úlomky brousících kotoučů o velikosti 5 až 20 mm, úlomky porcelánu o velikosti 5 až 40 mm, kalené ocelové kuličky o průměru 4, 5, 6, 8 a 10 mm, volí se tak, aby se kuličky dostaly na všechna místa leštěného povrchu, drcená žula, litinová drť, úlomky keramiky a další.

Jako aktivní kapalina se používá chlorid sodný, nitrid sodný a podobně. Tyto aktivní látky jsou vždy smíchány v určitém poměru s vodou. [3]

3.2 Metody bez úběru materiálu

Jsou to úpravy povrchové vrstvy plastickou deformací. Pokud probíhá za studena, dochází ke zpevnění, vyvolání tlakových zbytkových pnutí a v některých případech zlepšení drsnosti povrchu zatlačením vrcholků nerovností. Funkční vlastnosti zejména mechanické se zlepší, vyvolání tlakových zbytkových pnutí do větší hloubky pod povrchem, eliminuje nepříznivý vliv předcházejících operací. Součást má vyšší únavovou pevnost, odolnost proti otěru i korozi, tvrdost apod. Můžeme ji tedy hodnotit jako by byla zhotovena z kvalitnějšího (dražšího) materiálu s delší životností. V tom spočívá hlavní

přínos těchto metod i důvod jejich stále širšího uplatnění především ve výrobě exponovaných součástí.

Zcela opačný účinek má plastická deformace za tepla (např. u závěrečné fáze leštění bez brusiva). Ohřátí povrchové vrstvy sice usnadní rozleštění vrcholků nerovností a dosažení lesklého povrchu, ale vyvoláním tahových pnutí, příp. strukturních změn v povrchové vrstvě, vzroste pravděpodobnost vzniku trhlin a snížení životnosti součástí. [2]

Mezi tyto operace patří: [2]

- Válečkování
- Kuličkování
- Otryskávání
- Kalibrování
- Vyhlazování
- Vibrační zpevňování

3.2.1 Válečkování, kuličkování

Jsou to procesy, při kterých dochází k plastické deformaci povrchových vrstev kovu. Důsledkem těchto procesů je změna struktury, zpevnění povrchu a vznik tlakových zbytkových napětí. Dosahuje se vysoká jakost povrchu, přesnost rozměrů i tvaru. Při statickém válečkování případně kuličkování tlačí otáčející se váleček případně kulička upevněná v držáku na opracovaný povrch, čímž se vyvolá plastická deformace. U dynamického namáhání vykonává váleček nebo kulička ještě kmitavý pohyb. [3]

Válečkováním, kuličkováním se opracovávají vnitřní i vnější rotační plochy, čelní i rovinné plochy. Opracovávané válcové díry mohou být průchozí i neprůchozí. Plastická deformace je vyvolána stálým tlakem válečku případně kuličky, nebo dynamickou silou válečku případně kuličky vyvolanou odstředivou silou nebo mnohohrannou vačkou. Tyto metody se využívají na opracování přírub, kluzných ploch přístrojů a strojů, hydraulických a pneumatických válců, válců spalovacích motorů, hřídelů, čepů, vodících ploch obráběcích strojů a další. [3]

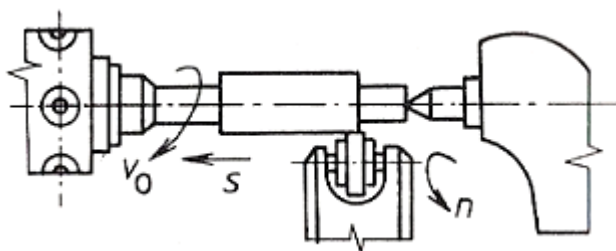
Stroje na válečkování a kuličkování

Válečkování i kuličkování se provádí na běžných obráběcích strojích, tedy na soustruhu, vrtačce, hoblovce, obráběcím centru a tak dál. [3]

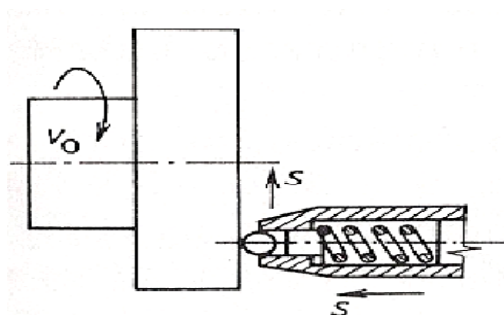
Nástroje pro válečkování a kuličkování

Nástroj pro válečkování případně kuličkování je tvořen z tvářecích elementů a držáků s upínací stopkou. Tvářecí elementy mohou být válečky nebo kuličky, vyrábějí se z nástrojové oceli a jsou tepelně zušlechtěny na tvrdost 60 až 65 HRC. Průměr tvářecích elementů bývá 5 až 30 mm.

Tvářecí elementy jsou uloženy v různých držácích, některá provedení nástrojů pracujících staticky ukazují obrázky 8 a 9. U držáků viz obr. 8, je tvářecí element upevněn na pevném hřídeli, na němž se volně otáčí. Provedení dle obrázku 8 ukazuje způsob využívající přitlačování tvářecích elementů pružinou. Nástroj pracující staticky, viz obr. 10, se skládá z trnu, se stopkou upnutou do vřetene, který se otáčí kolem osy opracované díry, dále z tvářecích elementů a z dvoudílné klece. Nástroj koná při práci planetový pohyb. [3]

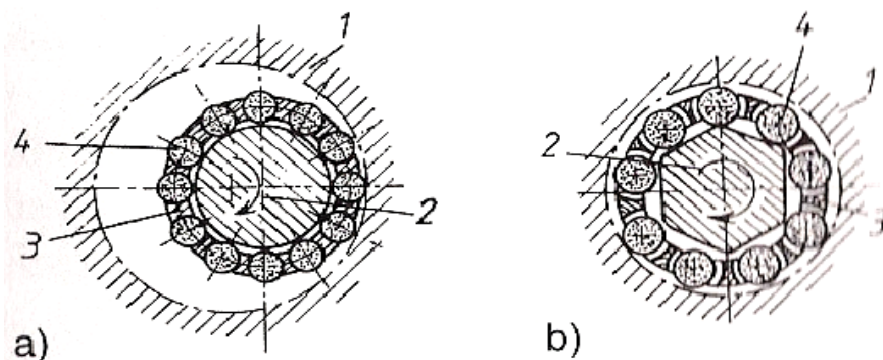


Obr. 8 Schéma válečkování povrchu válcové plochy [3]



Obr. 9 Schéma kuličkování povrchu čelní rotační plochy [3]

Princip nástroje pracujícího dynamicky je znázorněn na obr. 10. Trn s upínací stopkou má vytvořen šestihranný čep, na kterém je klec, ve které jsou uloženy tvářecí elementy. Nástroj vykonává jen rotační pohyb. Tvářecí elementy jsou v držáku umístěny tak, že jejich osa svírá s osou otáčení nástroje úhel $4 - 10^\circ$. [3]



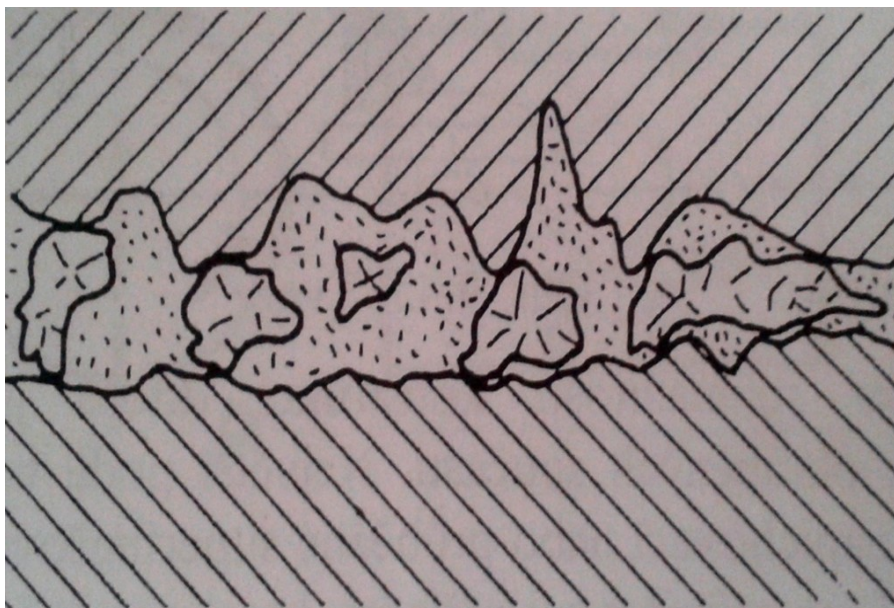
Obr. 10 Nástroje pro válečkování [3]

a) princip staticky pracujícího nástroje, b) princip dynamicky pracujícího nástroje

1 – obrobek, 2 – těleso nástroje, 3 – klec, 4 – tvářecí tělíska [3]

4 Proces lapování

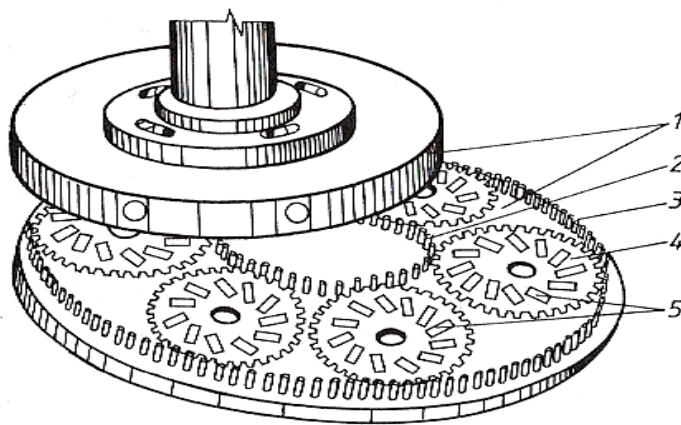
Lapování je proces dokončovacího obrábění rovinných ale taky zakřivených ploch, při kterém se obrobek i nástroj s volným brusivem vzájemně po sobě pohybují a brusné zrna odebírají velmi malé třísky z povrchu obrobku, viz obr. 11. Brusné zrna nejsou vázané do určitého tvaru brusného nástroje, ale jsou volně rozptýlené v kapalině, nebo tvoří s jinými přísadami měkkou pastu. [4]



Obr. 11 Princip úběru materiálu [2]

Lapováním se dosahuje vysoké přesnosti tvaru, úzkých rozměrových tolerancí a vysoké jakosti povrchu. Běžně je používáno pro vnější a vnitřní rotační plochy a plochy tvarové. Konkrétně se používá při výrobě kluzných a valivých ložisek, měřidel, ozubení, pístů, válců vstřikovacích čerpadel a řezných částí nástrojů, dosedacích ploch mechanických ucpávek nebo také přitlačných desek do plynových ucpávek. Lapování patří technicky do oblasti broušení a leštění, mění se jím geometrie, zejména rovinnost, potažmo křivost plochy i drsnost povrchu obrobku. Lapováním lze zhotovit opticky přesné plochy se zrcadlovým leskem a drsností až $0,001\mu\text{m}$. Kvalita je jedním z nejvýznamnějších činitelů ovlivňujících cenu výrobků a proto je metodika lapování pro výrobu v oblasti přesného strojírenství velmi významná. [5]

Z technologického hlediska se lapování rozděluje na hrubovací, jemné a velmi jemné. Při hrubovacím lapování dochází k odřezání nerovností a výstupků obráběného povrchu velkým počtem zrn brusiva. Při velmi jemném lapování dochází k plastické deformaci povrchové vrstvy lapované plochy. [7]



Obr. 12 Princip lapování [3]

1 – lapovací kotouče, 2 – vnitřní kolíkový věnec, 3 – vnější kolíkový věnec, 4 – maska, 5 – lapované součásti [3]

4.1 Lapovací stroje a zařízení

Podle způsobu práce rozdělujeme lapování na ruční a strojní. Při ručním lapování pohybujeme lapovacím nástrojem ručně, při strojním lapování určuje pracovní pohyby nástroje lapovací stroj. Typickým ručním lapováním je rovinné lapování, kdy při mírném tlaku pohybujeme obrobkem krouživými stále se měnícími pohyby po přesné rovinné desce, na které je nanesený jemný brusný prášek. Ruční lapování je však drahé a únavné, proto ho nahrazujeme lapováním strojním. [4]

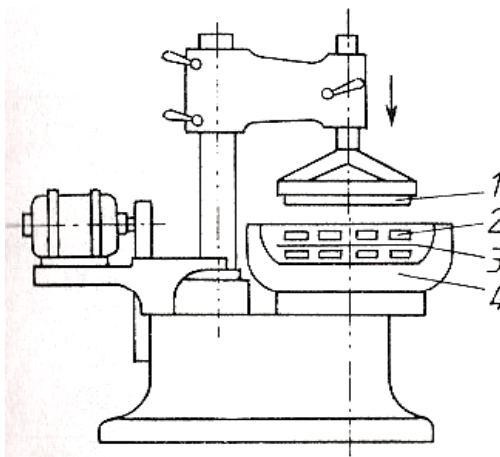
Lapovací stroje mohou být buď univerzální, ty jsou vhodné pro lapování jak rovinných, tak i rotačních součástí anebo speciální, které využíváme pro dokončování určitých druhů součástí, jako jsou například čepy klikových hřídelí a boky zubů kol. U lapovacích strojů je nutné zajistit jejich dostatečnou tuhost, stabilitu a přesnost polohy při pohybu lapovací desky. Tělo stroje je proto vytvořen jako pevný litinový odlitek. Pro vytváření přesných lapovaných ploch je důležitá stabilita. Motor má vysoký krouticí moment, ale rozdíl od broušení je v tom, že se lapování provádí pomalými rychlostmi. [5]

Podle konstrukčního řešení dělíme lapovací stroje na: [4]

- a) stroje s jedním hnaným a jedním pevným kotoučem,
- b) stroje s dvěma hnanými kotouči,
- c) bezhrotové lapovací stroje,
- d) lapovací stroje na otvory.

Lapovací zařízení pro strojní lapování musí umožnit přesnou rotaci upínek pro lapované díly. Tyto upínky jsou pravděpodobně nejkritičtější místem lapovacích

systémů, protože drží obrobky při opracování a tím určují i jejich konečnou kvalitu. Upínky se vyrábí z dílu odolných proti opotřebení a vkládají se do pracovních kruhů, které jsou z vysoce otěruvzdorných materiálů, ty dávají stabilitu upínkám a do jisté míry zajišťují rovinnost upínacích desek. Ty se podle druhu lapování umísťují následovně: spodní deska na hřídel, spojenou s motorem, horní deska bývá stacionární a je s drážkami, pro dokončovací operace jsou lapovací desky bez drážek. Další typy strojů na lapování mají možnost nezávislého řízení obou lapovacích desek, planetových kol i planetových unášeců, jejichž přítlak je pneumaticky regulován. [5]



Obr. 13 Universální vertikální stroj na lapování rovinných ploch

1 – horní lapovací kotouč, 2 – lapované obrobky, 3 – maska, 4 – dolní lapovací kotouč [3]

4.2 Lapovací prostředky

Lapovací prostředek je tvořen brusnými zrny rozptýlenými v kapalině nebo pastě. [3]

Mezi lapovací prostředky patří lapovací pomůcky a lapovací nástroje. [4]

4.2.1 Lapovací pomůcky

Lapovací pomůcky jsou různé pasty, suspenze a roztoky, jejichž podstatnou složku tvoří zrna brusného materiálu, uskutečňující vlastní řezný pohyb lapování. Používají se přitom zrna z normálního korundu, bílého korundu, karbidu křemíku, syntetického i přírodního diamantu, karbidu bóru, nitridu bóru a podobně. Použitý lapovací prášek zpravidla váže stearín, parafín, vazelínu, tuk, olej, petrolej, ve formě kašovitých past nebo suspenzí. Kapalinová suspenze bývá nejčastěji směs petroleje s lehkým olejem v poměru 1:1 nebo olej s vyšší viskozitou. Vizkoznější oleji se při srovnatelných podmínkách dosáhne menších úběrů materiálu při lapování. [4]

Tab. 6 Složení lapovacích past ze SiC a Al₂O₃ [4]

Brusný materiál	Rozměr brusného zrna (μm)	Obsah (%)				
		Brusný prášek	Oleínová kyselina	Stearín	Petrolej	Vazelína
Bílý korund, legovaný Cr	3 až 20	70	20	8	2	-
Bílý elektrokorund, legovaný Ti	14 až 40	50 až 70	20 až 27	8 až 17	2 až 6	-
Monokorund	1	48	48	4	-	-
Karbid křemíku	10 až 14	60	-	-	2	38

V tabulce 6 se uvádí složení běžných lapovacích past. Kromě past uvedených v tabulce, se používají i pasty, ve kterých jsou místo SiC nebo Al₂O₃ prášky ze syntetických diamantů, karbidů nebo nitridů bóru. [4]

Výběr abrazivního materiálu závisí na druhu lapovaného materiálu, jeho tvrdosti, požadované kvalitě a požadované přesnosti opracování, používané technologii a ceně. Je nezbytné, aby typ abraziva byl dostatečně tvrdý, aby se jeho zrna lámaly (a ne drtily) tak, aby na nových zrníčkách vznikaly další nové, ostré hrany. Z tohoto pohledu jsou nejvíce preferované materiály karbid křemíku a oxid hliníku. Jako obecné pravidlo platí: zrnitost 600 se používá pro rovinnost 1 μm a méně, zrnitost 400, když je potřeba větší počáteční úběr a zrnitost 280 pro objekty, které vyžadují značný úběr materiálu. Mezi další nejčastěji používané materiály patří kubický nitrid bóru CBN, který je tvrdší než SiC a Al₂O₃. Tento materiál má blokovou krystalickou strukturu a vynikající úběrové schopnosti. V místech kde je nutná rychlost úběru a kvalita povrchu se pro lapování používá zejména diamant. Diamant je tzv. králem brusných prostředků, vytváří vynikající kvalitu povrchu při vysokých rychlostech úběru a dokáže díky své tvrdosti snadno řezat všechny materiály a fáze. [5]

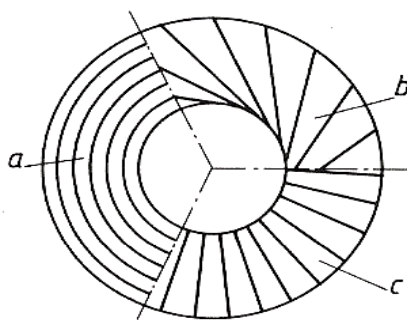
Důležitým činitelem při lapování je velikost mezery mezi součástkou a lapovacím nástrojem. Čím je rozměr zrna menší, tím menší musí být i mezera mezi součástkou a nástrojem. Z hlediska dosahované jakosti lapované plochy je důležité, aby použité zrna brusného materiálu měli rozměr příslušný dané zrnitosti. [4]

Důležitou otázkou zabezpečení optimálních podmínek lapování je kontrola nasycení obráběného povrchu pastou nebo suspenzí. Míru nasycení můžeme úspěšně kontrolovat mikroskopicky, pomocí elektronkového mikroskopu, radioaktivních izotopů, spektrální analýzy nebo ultrazvukových kmitů. [4]

4.2.2 Lapovací nástroje

Lapovací nástroj má negativní tvar lapované plochy a jeho funkcí je vést lapovací prostředek po ploše obrobku. Podle tvaru lapované plochy lze rozdělit lapovací nástroje na: [3]

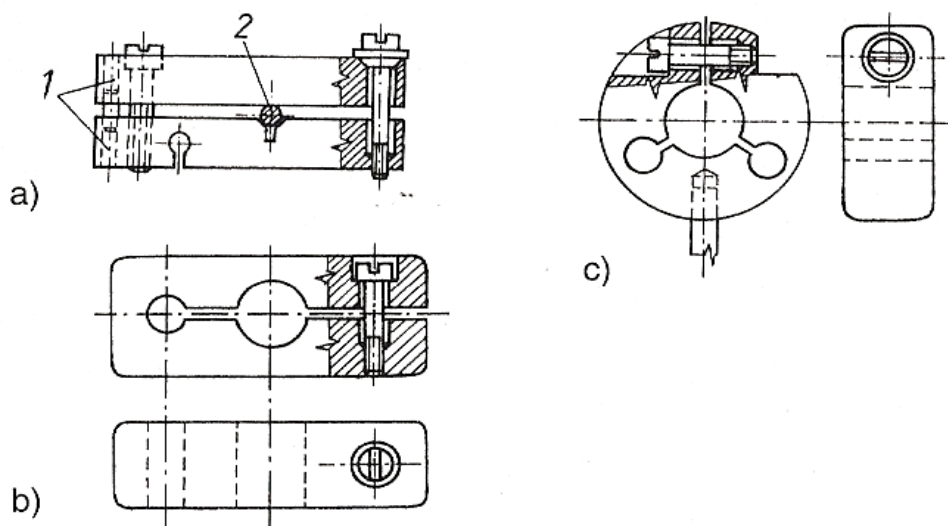
- Desky a kotouče – používají se pro lapování rovinných ploch, pro hrubovací operace mají na činné ploše vytvořeny drážky, pro dokončovací lapování je činná plocha hladká [3]



Obr. 14 Hrubovací lapovací kotouče - tři různé typy používaných povrchů [3]

- a) drážkovaný povrch, b) povrch se šikmými rýhami, c) povrch se soustřednými rýhami [3]

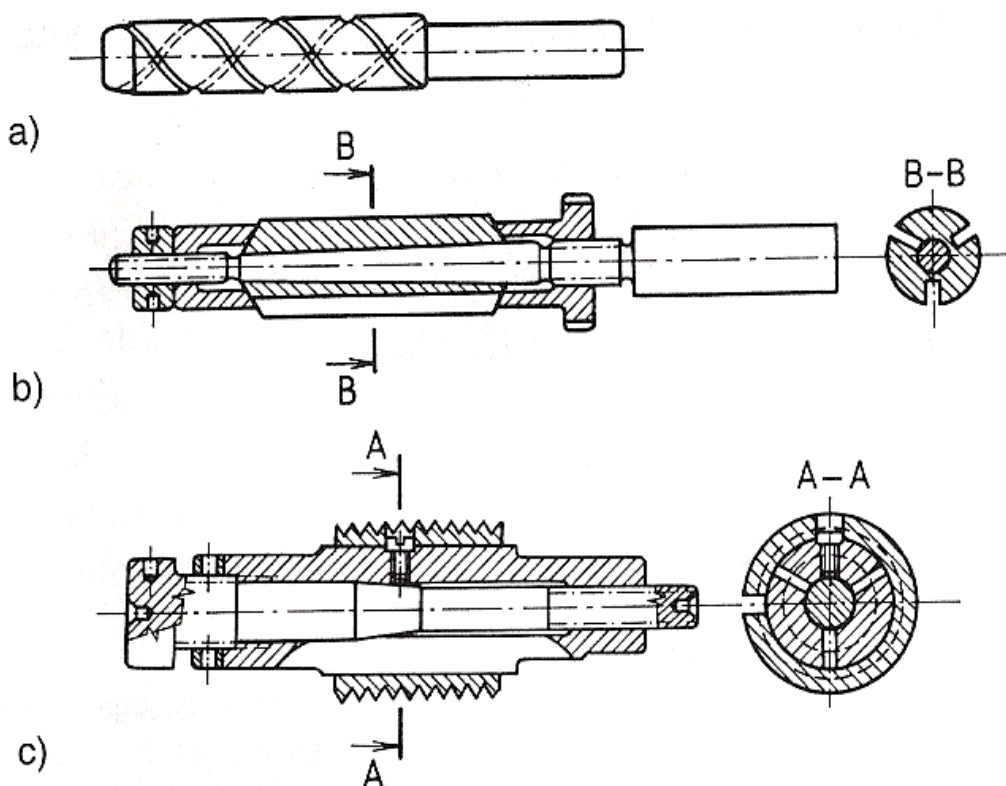
- Pevná nebo stavitelná pouzdra – jsou používány pro lapování vnějších rotačních ploch, délka pouzdra musí být minimálně rovna průměru obrobku [3]



Obr. 15 Lapovací pouzdra na vnější rotační plochy [3]

- a) pro malé průměry, b) pro střední průměry, c) pro velké průměry, 1) nástroj, 2) obrobek [3]

- Pevné nebo rozpínací trny – jsou používány pro lapování vnitřních rotačních ploch, na činné části nástroje jsou vytvořeny drážky (nejčastěji ve tvaru šroubovice), které tvoří zásobník pro lapovací prostředek. [3]



Obr. 16 Lapovací nástroje na díry [3]

- a) pevný lapovací trn, b) rozpínací lapovací trn, c) rozpínací lapovací trn na vnitřní závity [3]

Materiál nástroje má být měkčí než materiál obrobku, nejčastěji se používá litina nebo měkká ocel. Lapovací nástroje se také vyrábí z bronzu, mědi, antimonu, cínu, skla, olova, dřeva, plastů a podobně. Pro lapování velmi tvrdých materiálů nebo pro dosažení velmi jemných lapovaných povrchů se používají kalené nebo pochromované nástroje. Materiál nástroje musí být zvolen tak, aby byl dobrým nositelem lapovacího prostředku, po celou dobu práce zachoval svůj tvar a u chemicko-mechanického lapování odolával chemickému působení lapovacího prostředku. [3]

4.3 Pracovní podmínky

Předpokladem pro úspěšné lapování je dokonalé předchozí obrobení plochy, která se má lapovat. Používají se operace broušení, jemné vyvrtávání, vystružování, jemné soustružení, případně jemné frézování. [3]

Tab. 7 Volba přídatku na lapování [3]

Druh plochy	Jednostupňové lapování	Dvoustupňové lapování
Rovinná	5 až 20 μm	až 100 μm
Válcová	do 10 μm na průměr	do 100 μm na průměr

Orientační hodnoty řezných rychlostí při strojním lapování jsou uvedeny v tabulce 8. Při ručním lapování válcových ploch, kdy se nástrojem pohybuje ručně, má otáčející se součást obvodovou rychlost 6 až 30 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Tab. 8 Orientační hodnoty řezných rychlostí při lapování [3]

Druh plochy a způsob práce	Hrubovací lapování ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	Lapování na čisto ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	Jemné leštící lapování ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
Lapování rovinných ploch kotouči	250 až 380	150 až 280	10 až 100
Lapování otvorů		50 až 120	4 až 50
Vnější lapování hřídelů kroužky		50 až 120	6 až 60
Vnější lapování hřídelů kotouči			50 až 90

4.4 Dosahované parametry

Přesnost rozměrů, tvarů a jakost obrobeného povrchu dosahované operací lapování jsou přehledně znázorněny v tabulce 9.

Tab. 9 Dosahovaná jakost lapovaných ploch [3]

Ukazatel jakosti	Přesnost rozměrů			Tvarová přesnost (μm)			Parametr drsnosti povrchu R_a (μm)		
Způsob lapování	velmi jemné	jemné	normální	velmi jemné	jemné	normální	velmi jemné	jemné	normální
Vnější válcové plochy	IT 1 až IT 2	IT 3 až IT 4	IT 5 až IT 6	0,05 až 0,1	0,1 až 0,5	0,6 až 1,0	0,025 až 0,05	0,05 až 0,1	0,1 až 0,2
Otvory	IT 1 až IT 3	IT 3 až IT 4	IT 4 až IT 6	0,05 až 0,1	0,1 až 0,5	0,5 až 1,0	0,005 až 0,05	0,05 až 0,1	0,1 až 0,4
Rovinné plochy	IT 1 až IT 3	IT 3 až IT 4	IT 4 až IT 6	0,03 až 0,05	0,05 až 0,5	0,6 až 1,0	0,005 až 0,05	0,05 až 0,1	0,1 až 0,4

5 Experimentální část – lapování dané součásti

V experimentální části je uveden proces lapování součásti dle požadavků firmy John Crane Sigma a.s. Je proveden popis soustavy S – N – O – P, postup lapování dosedací plochy přitlačné desky do plynové ucpávky, kontrola rovinnosti pomocí kruhoměru a monochromatického světla. V průběhu konzultací, které byly prováděny přímo na lapovně, bylo řešeno několik nedostatků. Nejvýznamnější z nedostatků byly zbytečně dlouhé hadice přívodu vstřikovací jednotky, ve kterých docházelo k ulpívání abraziva a následnému ztvrdnutí při nečinnosti stroje. Zatvrdlé abrazivum při zapnutí stroje, způsobuje poškrábání a nerovnoměrné rozptýlení po lapovací desce. Použitím kratších hadic se neusazuje tolik abraziva. Jako další nedostatek je řešen problém při získávání lesklého povrchu. Výměnou lapovací desky s drážkami za lapovací desku bez drážek získáme lesklejší povrch, při kratším lapovacím času.

Firma John Crane Sigma a.s. je součástí skupiny John Crane a částí koncernu Smith Group plc. Zabývá se výrobou mechanických ucpávek, těsnění a těsnících systémů a jejich prodejem na území České republiky a Slovenska. Mechanické ucpávky jsou používány ve všech oblastech průmyslu, k těsnění rotačních zařízení, jako jsou kompresory čerpadla, míchadla. Firma John Crane je také zodpovědná za řízení prodeje John Crane v oblasti střední a východní Evropy. [11]

Firma byla založena v roce 1993 jako jeden z prvních společných podniků v Československu mezi britskou firmou John Crane a čerpadlářským výrobcem Sigma Lutín. Součástí vkladu Sigma Lutín do společného podniku byl výrobní areál, který podnik John Crane Sigma a.s. využila k dalšímu rozvoji. Dnes je tato firma známá po celém světě. [11]

Zadaná součást je používána jako přitlačná deska v plynové ucpávce. Princip této součásti je, že přitlačuje perfektně lapovanou plochu druhého karbonového dílce dovnitř ucpávky. Plynové ucpávky jsou vyráběny firmou John Crane pouze v UK, ve firmě John Crane v Lutíně je pouze zalapovaná požadovaná plocha a součást se posílá do UK.

5.1 Lapovací stroj Lapmaster Model 36

Lapovací stroj využívá velké kruhové lapovací desky rotující v horizontální rovině kolem vertikální osy. Povrch desky je obvykle vroubkovaný, což umožňuje volný přítok brusného materiálu na patřičné místo a také umožňuje odplavování použitého brusiva a odstraněné hmoty. K práci dochází uvnitř úpravných kroužků, které mají dvojí účel: udržují lapovací desku rovnou a zabraňují tomu, aby komponenty rotovaly společně s lapovací deskou. Úpravné kroužky jsou udržovány v příslušné pozici třmenovými úchytkami připevněnými ke stroji, přičemž úchytky mají válečky umožňující volnou rotaci. Úpravné kroužky a součástky rotují pomocí rotující lapovací desky.

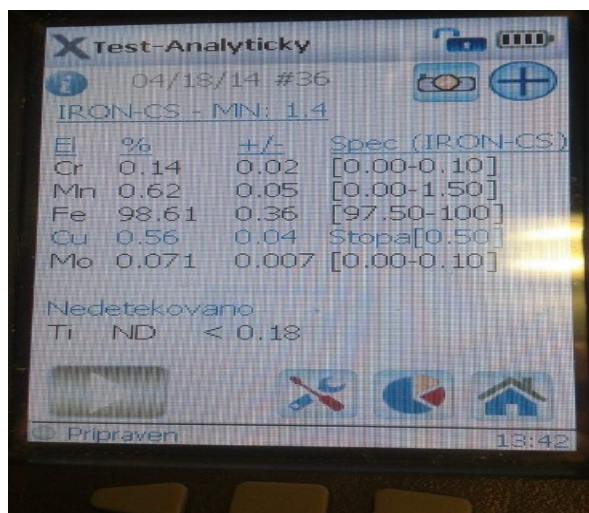


Obr. 17 Lapování součásti na stroji Lapmaster

Parametry stroje: [10]

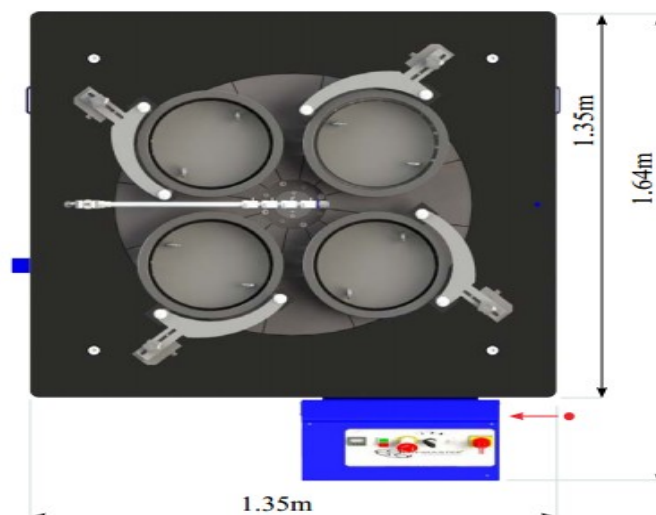
- Motor o výkonu 4 kW s redukční převodovkou, tato soustava umožňuje rotování lapovací desky až 58 min^{-1}
- Lapovací deska $\Phi 914 \text{ mm}$, vyrobená z litiny

Pro zajímavost byla ve firmě John Crane Sigma a.s. změřena lapovací deska pomocí rentgenového spektrometru takzvaného PMI testeru, tento přístroj je používán na zjištění složení materiálu, na displeji je zobrazeno kolik obsahuje prvků v % a norma materiálu. Výsledek provedené kontroly je zobrazen na obrázku 18.



Obr. 18 PMI tester - chemické složení lapovací desky

- 4 vodící kruhy o Φ 373 mm
- Přibližná hmotnost 1100 kg



Obr. 19 Parametry stoje z horního pohledu [10]



Obr. 20 Parametry stroje z bočního pohledu [10]

Technické parametry: [10]

- el. Zdroj – 280/320V, 3 fáze, 50Hz,
- tlak vzduchu – 400 kPa
- tlak vody – 100 kPa

5.1.1 Kontrola rovinnosti hrubovacích a matovacích strojů

Kontrola je prováděna každý den na začátku ranní a odpolední směny. Nejprve je umístěn kovový disk o průměru 250 mm na zjištění aktuální rovinnosti stejného označení jako je lapovací stroj na lapovací desku a lapuje se 15 minut. Po patnácti minutách je kovový disk vizuálně zkontrolován, jestli je vylapovaný po celé ploše, pokud není, pokračuje se v lapování obvykle dalších 5 minut, poté přichází další vizuální kontrola. Když je kovový disk vylapovaný, tak je očištěn a vyleštěn na lapovačce, na kterou je ručně nanesen diamant o zrnitosti 3 mikrony s názvem A-DSG-03-S2 a leštění je prováděno po dobu 5 minut. Po vyleštění je opět kovový disk očištěn a je zjišťována jeho rovinnost pomocí monochromatického světla, jehož princip bude vysvětlen v bodě 5.6. Zapiše se počet světelných pruhů, pokud je počet pruhů vyšší než 4, potom je nutné začít rovinnost lapovačky zlepšovat vychýlením vodícího kruhu a zapsat jeho novou pozici do protokolu. Pokud je kovový kotouč konvexní je přesunut jeden kruh o 1 dílek blíže středu a naopak.



Stupnice
Vychýlením vodícího kruhu se mění dráha jak samotného vodícího kruhu, tak i lapovaných dílců, což ovlivňuje rovinnost lapovací desky.

Obr. 21 Vychýlení vodícího kruhu

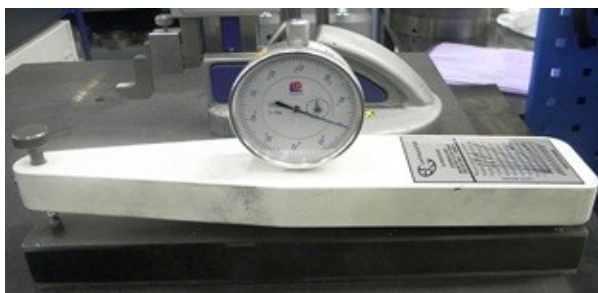
5.1.2 Kontrola rovinnosti finálních lapovaček

Kontrola a následná korekce je prováděna tehdy, jestliže rovinnost zalapovaného kusu již neodpovídá tabulce.

Tab. 10 Maximální dovolený počet pruhů při lapování [9]

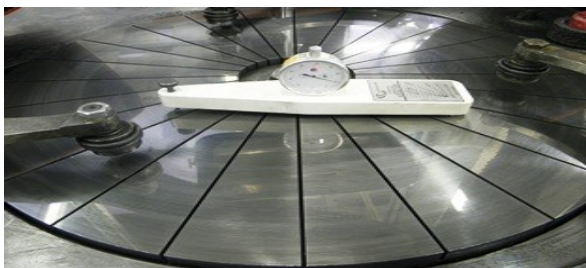
Vnitřní – tzn. menší průměr	Max. počet svět. pruhů
do 100mm	2
od 101 do 200	3
od 201 do 300	4
od 301 do 400	5

Nejprve je očištěn lapovací stůl a je vytřen do sucha. Pomocí kalibrační podložky je srovnán měřicí přístroj Lapmaster do nuly.



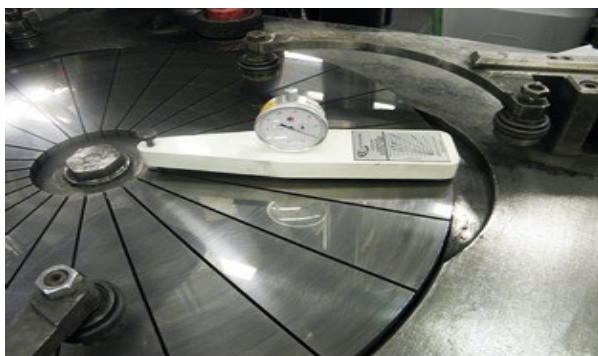
Obr. 22 Měřicí přístroj Lapmaster

Dále je položen měřicí přístroj podélně, co nejbližší středu viz obr. 23 a je změřena rovinnost tímto způsobem minimálně na dvou místech.



Obr. 23 Měření podélné rovinnosti

Naměřené úchytky by měly být maximálně 0,003 mm do mínusu i do plusu. Pokud jsou vyšší, provedeme korekci, to znamená srovnání dotažením anebo povolením středové matice lapovacího stolu. Jestliže je odchylka do mínusu je lapovací deska konkávní = povolí se matice a naopak. Tímto způsobem je srovnána deska do nulové pozice. Následně je provedeno přeměření v příčném směru opět alespoň na dvou místech.



Obr. 24 Měření příčné podélnosti

Jestliže je naměřeno opět více jak 0,003 mm v obou směrech, jak do plusu anebo mínusu, je provedeno srovnání stolu pomocí rovnacího přípravku minimálně

po dobu 20 minut a následně probíhá kontrola. Rovnání probíhá tak dlouho, dokud není dosaženo odchylky max. 0,002 mm.



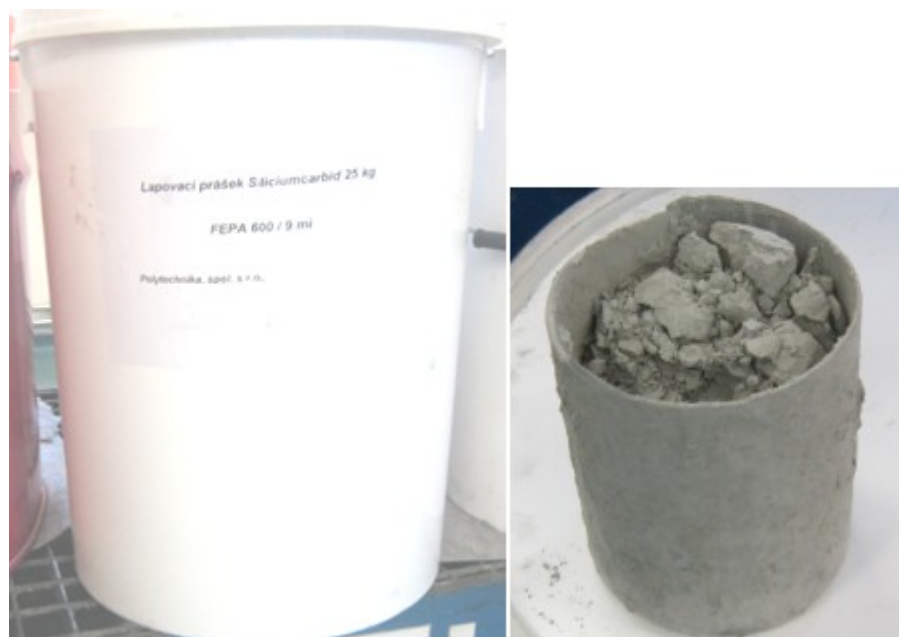
Obr. 25 Rovnání pomocí rovnacího přípravku

Na závěr je znovu ověřena nová rovinnost zalapováním 1-2 kusů. Rovinnost zalapovaných dílců musí být minimálně v souladu s hodnotami v tabulce 10, ale měla by být ještě lepší.

5.2 Nástroj pro lapování

Jako nástroj pro lapování dané součásti je používáno abrazivo smíchané společně s olejem v poměru 0,45 litru prášku na 15 litrů Unilap oleje. Takto namíchaná emulze je vylita do nádoby stroje a pomocí čerpadla je přiváděna mezi lapovací desku a lapovanou součást.

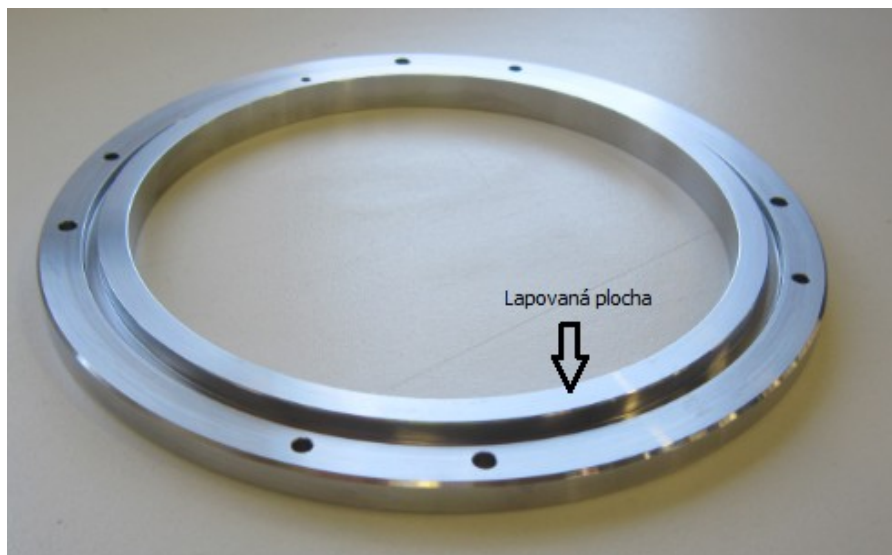
Abrazivem je prášek, Karbid křemíku o zrnitosti 9 mikronů. Unilap olej slouží jako mazací a chladicí kapalina, s optimálním smáčecím a proplachovacím účinkem pro dosažení vysoké kvality povrchů.



Obr. 26 Lapovací prášek

5.3 Obrobek – lapovaná součást

Obrobkem je přitlačná deska v plynové ucpávce, princip této součásti je, že přitlačuje perfektně lapovanou plochu druhého Karbonového dílce dovnitř ucpávky. Materiál tohoto dílce je 410 Stainless steel, chromová martenzitická korozivzdorná ocel, číslo materiálu 1.4006, v české normě značená jako ČSN 17 021.



Obr. 27 Lapovaná součást

5.3.1 Vlastnosti chromové korozivzdorné martenzitické oceli

Martenzitická nerezová ocel s obsahem 12 – 18 % chrómu a do 1,5 % uhlíku je schopna zakalení z austenitizační teploty. Ocel můžeme po zakalení vyžítat mezi 600-750°C pro získání feritické struktury s karbidy. Pokud není požadovaná houževnatost nebo tažnost, lze dosáhnout zušlechťováním až 2000 MPa pevnosti v tahu. Tyto nerezové oceli mohou být vytvrzené a zpevněné legováním mědí, titanem, niobem, hliníkem nebo molybdenem při obsahu uhlíku do 0,1%. Martenzitické oceli jsou feromagnetické.

Martenzitické nerezové oceli mohou být tepelně zpracovány, aby byla dosažena jejich vyšší tvrdost.

Používají se jako konstrukční části do vody a páry a mírně působících prostředí v potravinářském průmyslu, dále jako hlavně pušek.

Značení chromové korozivzdorné martenzitické oceli: [8]

- AISI – 410
- ČSN – 17021
- DIN – 1.4006
- EN – X12Cr13

Chemické složení nerezové oceli 1.4006: [8]

- C = 0,08 – 0,15 %
- Si = 1 %
- Mn = 1,5 %
- P = 0,4 %
- S = 0,03 %
- Cr = 11,5 – 13,5 %
- Ni = 0,75 %

Mechanické vlastnosti nerezové oceli 1.4006: [8]

- Re = 295 – 450 MPa
- Rm = 490 – 800 MPa
- Tvrdost dle Brinella = 150 – 245 HB
- KCU = 49 – 88
- Z = 60 %
- A3 = 18 – 20 %

5.4 Přípravek pro lapování

Přípravkem jsou vodící kruhy vyrobené z litiny, mezi které jsou vkládány součásti určené k zalapování. Vodící kruhy udržují lapovací desku rovnou a zabraňují tomu, aby komponenty rotovaly společně s lapovací deskou. Vodící kruhy jsou udržovány v požadované pozici třmenovými úchytkami připevněnými ke stroji, přičemž úchytky mají válečky umožňující volnou rotaci. Vodící kruhy a součástky jsou otáčeny pomocí rotující lapovací desky.



Obr. 28 Vodící kruh

Pro součástky menších rozměrů jsou do vodících kruhů vkládány šablony. Šablona je pertinaxový kotouč s dírami, sloužící k otáčení kusu ve vodícím kruhu, je vždy dbáno na velikosti děr šablony, aby bylo zaručeno rotování všech kusů. Použití šablony výrazně zvýší produktivitu lapování.



Obr. 29 Vodící kruh se šablonou

5.5 Postup lapování součástí

Nejprve jsou změřeny rozměry součásti, musí se zjistit kolik materiálu, je možno zlapovat. Na stroji se nastaví čas lapování, v našem případě je to 45 minut, viz tab. 11 a na lapovací desku je položena součást určená k lapování. Zapne se stroj a probíhá kontrola kapání abraziva, aby bylo rozloženo rovnoměrně po celé lapovací desce. Po uběhnutí požadované doby lapování je stroj vypnut, součást je vyjmuta a vyprána nejprve v mechanické, poté v ultrazvukové pračce. Po očištění je daná součást kontrolována pomocí monochromatického světla a pomocí kruhoměru, jestli se nachází součást v požadované normě, tak je součást vylapovaná, jestli není dosaženo požadované rovinnosti, dále lapujeme, ale už jen po pěti minutách a součást je zase zkontrolována pomocí kruhoměru, takto se pokračuje, dokud není dosaženo příslušných tolerancí.

Tab. 11 Čas potřebný k vylapování povrchu příslušných materiálů [9]

Oceli	45 minut
Bronz	max. 15 minut
Nástřiky a návary	max. 5 minut

5.5.1 Výkres dané součásti

Výkres viz příloha 1

Pozn. Zakótovány jen ty rozměry, které nepodléhají výrobnímu tajemství firmy.

5.5.2 Průvodka dané součásti

10	CUTTING	Řezárna materiálu	0	MIN	0	MIN	
12	GS_A_TU	Hrubování	10	MIN	10	MIN	Hrubování - hrubuj dílec s přídávky pro žíhání
15	OTHER	Žíhání	0	MIN	0	MIN	Žíhání - žíhat na teplotu pro odstranění pnutí dle tabulky pro žíhání - technolog
20	GS_A_TU	SU 'A' + SU 'B'	40	IN	40	IN	<p>SU 'A' + SU 'B'</p> <p>1) Lehce upni do 6-ti čelistního sklíčidla za vnější vyhrubovaný průměr. (upínej s citem)</p> <p>Soustruž vnější a vnitřní průměr dílce na hotovo.</p> <p>2) Vytoč segmentové čelisti a soustruž dílec ze strany čelního zápichu na hotovo (před šlichtováním opatrně uvolni dílec a znovu ho lehce dotáhni + srovnej na hodinky). Celkovou délku dělej s přídávkem 0,3mm.</p> <p>3) Otoč dílec, upni za vnější průměr + srovnej rovinnost čela pomocí hodinek na max. 0,02mm. Odsoustruž přídavek 0,3mm na čele.</p> <p>pozn. Tolerovanou délku (pro matování) dělej na horní mez tolerance!!!</p>
30	GS_A_MI	FR	35	IN	22	IN	FR - Vrtej, závituj dílec z obou čel a z průměru dle výkresu.
35	GS_A_MI	Kontrola	0	MIN	0	MIN	Kontrola
40	WASHING	Mytí, čištění	0	MIN	0	MIN	
42	MARKING	Popis dle instrukce	0	MIN	0	MIN	
45	GS_INSP	Kontrola	0	MIN	0	MIN	Kontrola 100% kontrola dílců pro Gas Seals včetně protokolů z měření na CMM. Popis dle instrukce.
50	LAPPING	Lapování	0	MIN	10	MIN	Lapování Matování čela dle výkresu.
52	PINNING	Kolíkování	0	MIN	0	MIN	
55	INSPECT	Kontrola	0	MIN	0	MIN	
60	STORES	Uložení na sklad	0	MIN	0	MIN	

5.6 Kontrola rovinnosti monochromatickým světlem

Monochromatické světelné vlny jsou rozděleny na dolním povrchu optické desky. Polovina světelných vln se odrazí ode dna optické desky a druhá polovina projde vzduchovým klínem nebo štěrbinou, která je mezi oběma povrchy a odrazí se od horní strany kontrolované plochy. Tmavé interferenční pruhy vzniknou tak, že světelné vlny odražené se od kontrolovaného povrchu jsou překrývány se světelnými vlnami, odraženými ode dna optické desky.

Když je při pohledu pod úhlem 90° k povrchu změněna vzdálenost mezi oběma povrchy o $0,27\text{ }\mu\text{m}$, objeví se tmavý pruh kolem okraje. Pokud je například viditelných pět pruhů, znamená to, že vzduchový klín má sklon od $0,0\text{ }\mu\text{m}$ v místě dotyku, až po $5 \times 0,27\text{ }\mu\text{m}$, to je cca $1,4\text{ }\mu\text{m}$ od protějšího okraje. Když nejsou pruhy přímé, nebo když nejsou rovnoměrně rozmístěny, je kontrolovaná plocha zakřivená.

Optická deska bývá vyrobena z vysoce leštěného transparentního materiálu, jako je ploché sklo, pyrex nebo tavený křemen, a má alespoň jednu plochu tak dokonale zalapovanou a vyleštěnou, že je prakticky nemožné na ní zjistit jakékoli nepravidelnosti.

Zdrojem monochromatického světla je fluorescenční trubice plněná héliem nebo sodíkem, která vyzařuje světelné paprsky pouze s jednou vlnovou délkou. Když je optická deska umístěna na vyleštěný povrch a z vrchu je osvětlena monochromatickým světlem, je na ní možno pozorovat určitý počet světlých a tmavých pruhů. Tmavé linky jsou nazývány interferenční pásy. Rovněž úhel pohledu je důležitý. Kontrolovaný kus má být pozorován v co nejtěsnějším úhlu ke světelnému zdroji, jak je to jen možné.

5.6.1 Postup kontroly

Nejprve je očištěno libovolným čističem a potom je utřeno do sucha kontrolní sklo i lapovaný povrch, který je kontrolován. Před měřením je kontrolovaná součást otřena antistatickou utěrkou viz obr. 30.



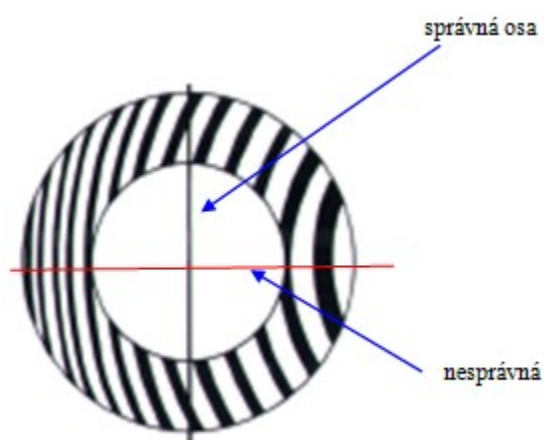
Obr. 30 Příprava součásti před kontrolou

Opatrně je položen dílec kontrolovanou plochou čelem na sklo. Na zrcadle by se měly objevit světelné pruhy. Opětným pozvednutím s pootočením se musí najít taková poloha, kdy jsou pruhy vidět nejostřeji a zároveň, které se budou blížit ideální rovině, to znamená, že pruhy jsou rovné a mezery mezi tmavým a světlým pruhem jsou stejné – viz obr. 31.



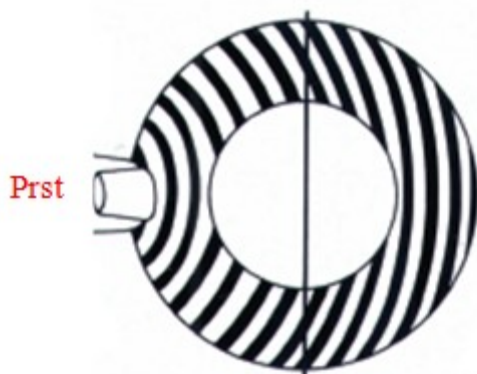
Obr. 31 Zobrazené pruhy pod světlem [9]

Jakmile je nalezena nejlepší pozice, je představena pomyslná osa na dílci natočená tak, aby byla co nejvíce souběžná s pruhy. Obr. 32 ukazuje rovinnost jednoho pruhu.



Obr. 32 Rovinnost jednoho pruhu [9]

Jestliže je potřeba zjistit typ zakřivení, potom se lehce zatlačí prstem na okraj, jak je znázorněno na obr. 33 a sleduje se, kterým směrem se pruhy začnou pohybovat. K prstu znamená, že lapované čelo je konvexní, od prstu znamená konkávní.



Obr. 33 Zjišťování zakřivení [9]

Požadavek na patřičnou rovinnost by měl být uvedený na výkrese. Pokud není nebo je na výkrese pouze odkaz na normu IS-107, řídí se pracovníci tabulkou 10 podle velikosti kusů. V těchto případech mohou být kusy jak konvexní, tak i konkávní.

Tab. 10 Dovolенý počet světelných pruhů v závislosti na průměru zkoumané součásti

Vnitřní – tzn. menší průměr	Max. počet svět. pruhů
do 100mm	2
od 101 do 200	3
od 201 do 300	4
od 301 do 400	5

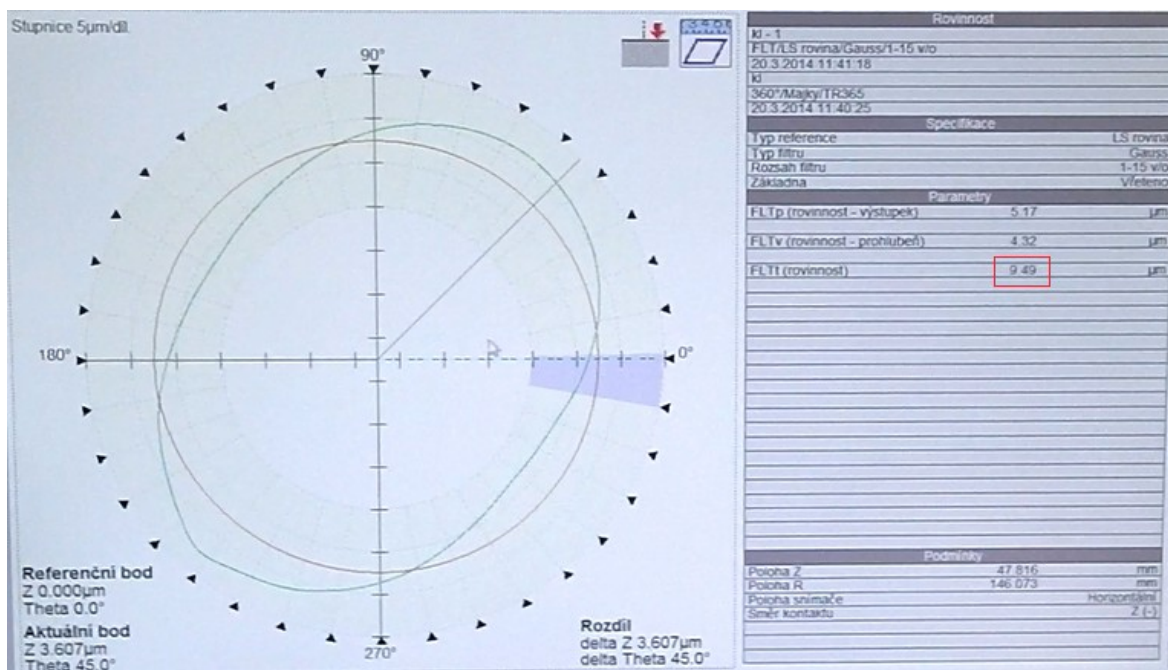
5.7 Kontrola rovinnosti pomocí kruhoměru

Pro kontrolu rovinnosti lapované součásti je v podmínkách firmy John Crane Sigma a.s. používán kruhoměr Talyrond 365 viz obr. 34.



Obr. 34 Kruhoměr Talyrond 365

Nejprve je kontrolovaný kus upnut na desku. Kruhoměr Talyrond 365 si sám vycentruje a vyrovná kontrolovaný kus s přesností na 5 μm . Jakmile je kus vycentrován a vyrovnán, začne samotná kontrola, kdy je pomocí čidla kontrolována rovinnost otáčející se kontrolované součásti. Po projetí čidla po celém obvodu obrobku jsou data zobrazena na počítači a je zobrazena i rovinnost. V našem případě vyšla rovinnost 9,49 μm . Výsledná rovinnost má být do 5 μm , z toho vyplývá, kontrolovanou součást je nutno dále lapovat, a následně je provedena další kontrola pomocí kruhoměru Talyrond 365.



Obr. 35 Výsledek kontroly

6 Technicko-ekonomické zhodnocení

V průběhu konzultací ve společnosti John Crane Sigma a.s., jsem byl seznámen s procesem lapování, ve kterém bylo zjištěno několik nedostatků, na které bylo upozorněno, byly navrženy drobné úpravy. Jedná se zejména o tyto nedostatky:

Leštění

Pro určité kovové součásti je dle výkresové dokumentace požadován pro lapovanou plochu zrcadlový lesk. K tomu je ve společnosti používán speciální lapovací/leštící stroj. Toto zařízení je jednoduše modifikovaný lapovací stroj, kdy je na lapovací desce nalepena textilní vrstva o tloušťce 1 mm. Na tuto upravenou desku jsou umístěny standardní unášecí kruhy, které se odvalují po vymezujících ramenech. Během řešení bakalářské práce ve společnosti John Crane Sigma a.s. bylo vypořádováno, že výše zmíněná textilní vrstva je nalepena na lapovací desce, která je stejně jako ostatní standardní litinové desky drážkovaná směrem ke středu. Jedním nedostatkem byla možnost použití lapovací desky bez drážek místo lapovací desky s drážkami. Následně byl proveden pokus, kdy na lapovací desku bez drážek byla nalepena textilní vrstva, následně bylo provedeno leštění na tomto stroji. Poté byly testovací kusy zkontrolovány pomocí monochromatického světla. Bylo zjištěno, že výslednou rovinnost lze lépe zkontrolovat a pomocí vizuální kontroly povrchu bylo zjištěno, že zrcadlový lesk je proveden v lepší kvalitě. Společnosti bylo doporučeno vyměnit stávající desku na desku bez drážek. Jelikož je nová deska bez drážek, je povrch vyleštěn a dá se lépe zkontrolovat rovinnost již po pěti minutách leštění, na rozdíl od desky s drážkami, kterou jsou dílce leštěny až třikrát po deseti minutách. Na lapovací desce bez drážek je vyleštěn dílec na lepší kvalitu za dobu až 6 krát kratší dobu než na desce s drážkami, tím je výrazně zvýšena produktivita práce a sníží se cena vyleštění jednoho dílce a vyšší výnos pro firmu. Zavedením lapovací desky bez drážek je zvýšena kapacita lapovny pro leštěné dílce.

1 rozstřík abraziva = 5 minut

Spotřeba abraziva na 1 rozstřík: 5 gramů

Cena abraziva A-DSG-03-S2: 1000g = 980 Kč → 1g = 0,98 Kč

Výpočet spotřeby abraziva při leštění na drážkované desce na 1 dílec

Chod stroje na 1 dílec: až 30 minut

$$\frac{30}{5} = 6 \text{ nástřiků}$$

Spotřeba abraziva na 1 dílec: $5 * 6 = 30$ gramů

Cena spotřebovaného abraziva na 1 dílec: $30 * 0,98 = 29,4$ Kč

Výpočet spotřeby abraziva při leštění na desce bez drážek

Chod stroje na 1 dílec: 5 minut

$$\frac{5}{5} = 1 \text{ nástřik}$$

Spotřeba abraziva na 1 dílec: $5 * 1 = 5$ gramů

Cena spotřebovaného abraziva na 1 dílec: $5 * 0,98 = 4,9$ Kč

Úspora financí na abrazivu při použití desky bez drážek na 1 dílec

Úspora na 1 dílec: $29,4 - 4,9 = 24,5$ Kč

Úspora na 1000 dílců: $24,5 * 1000 = 24500$ Kč

Časová úspora při použití lapovací desky bez drážek na 1 dílcí

Úspora času: $30 - 5 = 25$ minut

Minutová sazba: 12 Kč / min

Úspora financí v závislosti na čase při použití desky bez drážek na 1 dílec:

$$25 * 12 = 300 \text{ Kč}$$

Úspora na 1000 dílců: $300 * 1000 = 300000$ Kč

Celková úspora na 1 dílec: až $24,5 + 300 = 324,5$ Kč

Celková úspora na 1000 dílců: $24\,500 + 300000 = 324500$ Kč

Zkrácení hadic přívodu vstřikovací jednotky

Dále bylo zjištěno, že z důvodu zbytečně dlouhých hadic přívodu vstřikovacích jednotek se ve smyčkách usazuje abrazivum, které během noční směny, kdy se stroj nevyužívá, zatvrdne. Toto ztvrdlé abrazivum je po té při uvedení stroje do chodu vytlačeno na lapovací plochu kde způsobuje poškrábání kusů, nebo přívodovou hadici ucpe a zabraňuje rovnoměrnému rozptýlení abraziva po lapovací desce. Společnosti bylo doporučeno zkrátit hadice přívodu na pouze nezbytně nutnou délku.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo dokončování povrchů procesem lapování v podmínkách firmy John Crane Sigma a.s. Teoretická část bakalářské práce byla zaměřena na popis dokončovacích operací v obrábění, dále pak na teorii lapování. V této části byl uveden popis strojů, nástrojů určených k lapování a druhy lapovacích brusiv. V experimentální části byla řešena problematika lapování a kontrola rovinnosti na součásti, která slouží jako přítlačná deska. Byl proveden popis stroje Lapmaster LM 36 s přípravky, kontrola rovinnosti lapovací desky, charakteristika lapované součásti a složení lapovací emulze.

V průběhu konzultací ve firmě bylo zjištěno několik nedostatků a byl dán návrh na zlepšení dvou z nich, těmito nedostatky byly dlouhé hadice přívodu vstřikovací jednotky a drážkovaná lapovací deska u lapovacího stroje určenému k leštění součástí.

Z důvodu zbytečně dlouhých hadic přívodu vstřikovacích jednotek se ve smyčkách usazovalo abrazivum, to během noční směny, kdy není stoj v chodu, zatvrdlo. Toto ztvrdlé abrazivum bylo uvedení stroje do chodu vytlačeno na lapovací plochu, kde způsobovalo poškrábání kusů, nebo přívodovou hadici ucpalo a zabraňovalo rovnoměrnému rozptýlení abraziva po lapovací desce. Společnosti bylo doporučeno zkrátit hadice přívodu na pouze nezbytně nutnou délku, aby se usazovalo co nejméně abraziva.

Na některé kovové součásti je požadován na lapované plochu zrcadlový lesk. K tomu se ve společnosti používá speciální leštící stroj. Toto zařízení je klasický lapovací stroj, kdy je na lapovací desce nalepena textilní vrstva o tloušťce 1 mm. Na tuto upravenou desku jsou umístěny standardní unášecí kruhy, které jsou odvalovány po vymezujících ramenech. Během návštěv ve společnosti bylo vyzkoušeno, že výše zmíněná textilní vrstva je nalepena na lapovací desce, která je stejně jako ostatní standardní litinové desky drážkovaná směrem ke středu. Při dotazu zda drážkování nevádí při leštění, mi bylo sděleno, že tuto věc doposud nikdo nezkoumal. Následně byl proveden pokus, kdy na lapovací desku bez drážek byla nalepena textilní vrstva, a bylo provedeno leštění na tomto stroji. Poté byly testovací kusy zkontrolovány pomocí monochromatického skla. Bylo zjištěno, že výslednou rovinnost lze lépe zkontrolovat a pomocí vizuální kontroly povrchu bylo zjištěno, že zrcadlový lesk je proveden v lepší kvalitě. Společnosti bylo doporučeno vyměnit stávající desku na desku bez drážek. Výměnou desky byla výrazně snížena doba vyleštění dílce, až 6 krát, z tohoto důvodu výrazně snížena spotřeba abraziva. Zavedením

lapovací desky bez drážek je výrazně zvýšena produktivita práce a kapacita lapovny pro leštěné dílce.

Firma John Crane Sigma a.s. zavedením daných návrhů získala úsporu spojenou s lapováním, je zlepšena kvalita povrchu leštěné plochy, což vede ke spokojenosti zákazníků i firmy.

Použitá literatura

- [1] HUMÁR, A. *Technologie I (Technologie obrábění – 1. část)*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: < http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf >.
- [2] MÁDL, Jan; KAFKA, Jindřich; VRABEC, Martin; DVOŘÁK, Rudolf. *Technologie obrábění: 3. díl*. ČVUT, 2000.
- [3] ŘASA, Jaroslav; GABRIEL Vladimír. *Strojírenská technologie 3: 1.díl*. Praha 6, Břevnov: SCIENTIA, 2000. ISBN 80-7183-207-3.
- [4] GAŠPÁREK, Jozef. *Dokončovacie sposoby obrábania*. Bratislava: ALFA, 1979.
- [5] MEPAC CZ [online]. 2008. [cit.2014-2-3]. Příručka lapování. Dostupné z WWW: < <http://www.mepac.cz/katalogprodej.php> >.
- [6] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [7] HUMÁR, A. *Technologie I (Technologie obrábění – 3. část)*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 57 s. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf>.
- [8] *Nerezové materiály, Nerez ocel - TERAPOL spol. s r.o.* [online]. [cit. 2014-7-4]. < <http://www.terapol.cz/clanek/no-vap-hlavni-skupiny> >.
- [9] *INTERNÍ PŘEDPISY FIRMY JOHN CRANE SIGMA a.s.*
- [10] *Lapping Machine and Polishing Machine Systems from Lapmaster International* [online]. c2006, poslední revize 10.4.2014 [cit. 2014-10-4]. <<http://www.lapmaster.co.uk/files/machines/Lapmaster%2036%20OF%204R.pdf>>.
- [11] BĚLOHLÁVEK, František. *Jak vést svůj tým*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2008, 144 s. ISBN 978-80-247-1975-7.
- [12] *Strojírenství – engeneering*. [online]. [cit. 2014-5-5]. Dostupné z: < <http://www.strojirenstvi.wz.cz/stt/rocnik3/honovani.php> >.
- [13] *Leštící kotouče - látkové, řasené, sisálové | Micron Plus*. [online]. c2013, [cit. 2014-5-5]. Dostupné z: < <http://www.micronplus.cz/sisalove-lestici-kotouce> >.

- [14] *Omilbrus s.r.o* [online]. [cit. 2014-5-5]. Dostupné z:
< <http://www.omilbrus.cz/index.php?menu=15> >.
- [15] *techstroj* [online]. c2012, [cit 2014-5-5]. Dostupné z:
< <http://techstroj.g6.cz/T/T11.pdf> >.

Seznam příloh

Příloha 1. Výkres dané součásti